

BIDANG ILMU : TEKNIK MESIN (ILMU PERMESINAN LAIN)

LAPORAN PENELITIAN

JUDUL PENELITIAN

**OPTIMASI PERFORMANSI GENERATOR GELEMBUNG MIKRO
KOMBINASI VENTURI DAN *STATIC MIXER***

TIM PENELITIAN :

1. Sigit D. P. Sidhi, S.T., M.Eng.
2. Andreas Pujiyanto, S.St.Pi., M.T.
3. Bagas Prakoso, M.T.
4. Akhmad Nurfauzi, A.Pi., M.T.
5. Rohyadi, S.S.Tr.Pi
6. Pundi Ramadhan, S.S.Tr.Pi
7. Agung Wahyudi (Taruna)
8. Dimas Rahmanto (Taruna)



**PROGRAM STUDI MEKANISASI PERIKANAN
POLITEKNIK KELAUTAN DAN PERIKANAN SORONG
BADAN RISET SDM KELAUTAN DAN PERIKANAN
KEMENTERIAN KELAUTAN DAN PERIKANAN**

2021

HALAMAN PENGESAHAN

1. Judul Penelitian : **Optimasi Desain Generator Gelembung Mikro
Kombinasi Venturi Dan *Static Mixer***

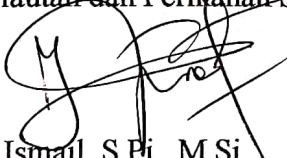
2. Ketua Peneliti

- Nama Lengkap : Sigit D.P. Sidhi, S.T., M.Eng.
- Jenis Kelamin : Laki-Laki
- NIDN : 3925078001
- Pangkat/Gol : III/d
- Jabatan Fungsional : Penata Tingkat I
- Prodi : Mekanisasi Perikanan
- Alamat : Politeknik Kelautan dan Perikanan Sorong
- Telepon/E-mail : 085696326956/s.sidhi@polikpsorong.ac.id

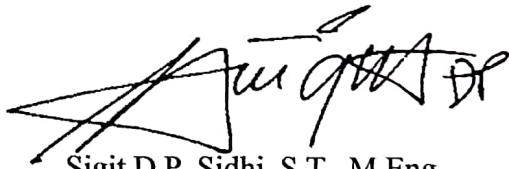
3. Jumlah anggota peneliti : 5 orang

4. Jumlah mahasiswa : 2 Taruna

Mengetahui
Kepala Pusat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat
Politeknik Kelautan dan Perikanan Sorong


Dr. Ismail, S.Pi., M.Si
NIP. 19730123 200212 1 002

Sorong, September 2021
Ketua Peneliti


Sigit D.P. Sidhi, S.T., M.Eng.
NIP. 19800725 200604 1 003

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	iii
DAFTAR TABEL	iv
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Tujuan	4
II. METODE PENELITIAN.....	5
3.1. <i>Numerical Model</i>	6
3.2. Eksperimen.....	9
III. PROGRES PENELITIAN	12
3.1. Simulasi Menggunakan CFD	12
3.2 Eksperimen Setup	13
DAFTAR PUSTAKA	15

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Diagram alir penelitian.....	5
Gambar 2. Venturi <i>microbubble generator</i> (Lee et al., 2019).....	6
Gambar 3. <i>Helical static mixer</i> (Hobbs & Muzzio, 1997)	7
Gambar 4. Desain Eksperimen	9
Gambar 5. Meshing	12
Gambar 6. Contours fraksi volume dan tekanan.....	12
Gambar 7. Desain eksperimen.....	13
Gambar 8. <i>Building experimental design</i>	14

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Spesifikasi geometri venturi microbubble generator.....	6
Tabel 2. <i>Grid Independency Test</i>	7
Tabel 3. <i>Boundary condition</i>	7

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Beberapa tahun terakhir, teknologi gelembung mikro (*microbubble*) banyak menarik perhatian para peneliti. Hal ini dikarenakan *microbubble* dapat digunakan pada banyak bidang ilmu pengetahuan dan teknologi. Gelembung mikro adalah partikel kecil gas yang mampu terdistribusi merata di dalam air dan memiliki ukuran diameter kurang dari 100 μ m (Endo, 2008). Dibandingkan dengan gelembung konvensional yang berukuran besar (>100 μ m), gelembung mikro memiliki beberapa kelebihan yaitu mempunyai gaya apung yang lebih kecil dan kecepatan naik ke permukaan sangat rendah, sehingga mampu untuk bertahan lebih lama di dalam air (Lee et al., 2019). Selain itu, gelembung mikro memiliki interfase yang lebih stabil, luas permukaan spesifik yang besar, tekanan internal yang tinggi, serta tingkat kelarutan yang tinggi (Wang, et. al., 2020), (Majid, et.al., 2018). Gelembung mikro memungkinkan oksigen yang terlarut dalam air (*dissolved oxygen* / DO) untuk bertahan lebih lama, sehingga penyediaan oksigen untuk proses respirasi dan perkembangan pada organisme di dalam air akan lebih maksimal (Majid et al., 2018). Hasilnya, peningkatan kadar DO ini akan berefek secara langsung pada peningkatan laju pertumbuhan organisme air (Basso, Hamad, & Ganesan, 2019). Awalnya, gelembung mikro banyak dimanfaatkan pada bidang pengolahan kualitas air dan juga budidaya perikanan. Namun saat ini pemanfaatan gelembung mikro sudah sangat luas dan mencakup berbagai bidang lainnya seperti teknologi pangan, bidang pengolahan medis, dan juga pertambangan mineral (Wang, Shuai, Zhou, et al., 2020), (Huang, Sun, Du, et al., 2019), (Alam et al., 2018), (Bhadran & Goharzadeh, 2020).

Alat untuk penghasil gelembung mikro disebut juga generator gelembung mikro atau *Microbubble Generator* (MBG). Generator gelembung mikro (MBG) adalah teknologi aerasi baru yang memanfaatkan prinsip Bernoulli dari mekanika fluida. Pada MBG, cairan dipaksa mengalir melalui sebuah saluran yang menyempit, sehingga kecepatannya meningkat secara signifikan dan akan tekanan akan turun. Karena adanya perbedaan tekanan antara atmosfer dan tekanan di dalam saluran, maka udara akan terhisap secara alami. Kemudian udara yang masuk tersebut akan didorong oleh aliran cairan berkecepatan tinggi, sehingga memecah udara menjadi gelembung

berukuran mikro. Diameter gelembung yang berukuran mikro menyebabkan laju kelarutan oksigen menjadi lebih tinggi (Pambudiarto & Mindaryani, 2020).

Secara umum, generator gelembung mikro dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis, seperti *dissolved air flotation*, *static mixer*, *rotary liquid flow*, *nozzle* (Lee et al., 2019), dan juga jenis venturi (Huang, Sun, Liu, et al., 2019). Venturi menjadi salah satu generator yang paling banyak dikembangkan saat ini karena kelebihan yang dimiliki antara lain yaitu kemudahan dalam instalasi, tidak memiliki bagian internal yang bergerak, perawatan yang lebih mudah, keandalan yang baik, dan konsumsi daya yang rendah (Huang, Sun, Liu, et al., 2019) serta tidak mengalami penyumbatan atau pengotoran ketika dioperasikan (Park & Yang, 2017).

Kinerja dari generator gelembung mikro dapat diukur dari ukuran diameter rata-rata gelembung dan koefisien perpindahan massa oksigen (Parmar & Majumder, 2013) serta bergantung pada geometri dan kondisi kerja (Juwana, Widyatama, & Dinaryanto, 2018). Apabila generator digunakan sebagai aerator, maka efisiensi generator yang biasa disebut *Standard Aeration Efficiency* (SAE) (Kumar, Moulick, & Chandra, 2013) juga akan dipengaruhi oleh koefisien perpindahan massa oksigen (Mahmud, Erguvan, & Macphee, 2020). Selain itu, bilangan Reynolds cairan dan fraksi volume menjadi faktor lain yang sangat berpengaruh pada ukuran gelembung mikro yang dihasilkan (Gordiychuk, Svanera, Benini, & Poesio, 2015). Untuk meningkatkan kinerja dan efisiensi generator gelembung mikro tipe venturi, beberapa peneliti melakukan variasi geometri venturi (Majid et al., 2018), (Feng et al., 2020); variasi laju aliran fluida (Huang, Sun, Du, et al., 2019) dan mengkombinasikan tipe MBG (Wang, et al., 2020).

Banyak penelitian telah dilakukan baik secara eksperimen maupun numerik untuk meningkatkan kinerja dari generator gelembung mikro tipe venturi. (Gordiychuk et al., 2015) meneliti pengaruh laju aliran air dan udara serta ukuran saluran masuk udara terhadap distribusi ukuran gelembung untuk generator gelembung mikro tipe venturi sederhana. Pada penelitian tersebut menyimpulkan bahwa ukuran gelembung yang dihasilkan generator venturi adalah sebanding dengan peningkatan fraksi volume, namun berbanding terbalik dengan laju aliran air. (Majid et al., 2018) melakukan eksperimen untuk mengetahui kinerja generator venturi dengan menambahkan pipa berpori pada venturi dan membuat sudut masuk dan keluar venturi sebesar 20° dan 12°. Pada eksperimen juga dilakukan variasi kombinasi laju aliran air dan udara untuk melihat pengaruhnya terhadap kinerja generator. Dari hasil penelitian didapatkan peningkatan laju aliran

air (Q_L) meningkatkan daya hidrolik (L_W) dan mengurangi efisiensi pembentukan gelembung (η_B) serta mengurangi diameter gelembung mikro. Desain baru generator gelembung mikro diperkenalkan oleh (Wang, Shuai, Zhou, et al., 2020), dan melalui eksperimen dan simulasi CFD dibandingkan kinerjanya dengan generator gelembung mikro tipe venturi yang konvensional. Pada desain baru tersebut ditambahkan saluran masuk yang arahnya tangensial pada sisi masuk venturi, sehingga menghasilkan pusaran (*swirl*) pada daerah konvergen venturi. Hasil penelitian menunjukkan ukuran diameter rata-rata gelembung yang dihasilkan generator *swirl*-venturi lebih kecil, distribusi ukuran gelembungnya lebih rapat dan koefisien perpindahan massa volumetrik cairannya lebih besar. Penelitian eksperimen dilakukan oleh (Liew et al., 2020) dengan mengkombinasikan venturi dan orifis pada generator untuk mendapatkan efisiensi aerasi yang lebih tinggi. Dari hasil penelitian diperoleh efisiensi aerasi maksimum sebesar 0,424 kgO₂/kWh. Penelitian eksperimen untuk menentukan rasio optimal antara udara terhadap air agar menghasilkan kinerja generator venturi terbaik dengan menggunakan tiga ukuran venturi yang berbeda yaitu dengan diameter tenggorokan 3 mm, 4 mm dan 5 mm dilakukan oleh (Vilaida, Kythavone, & Iijima, 2019). Nilai optimum diperoleh pada rasio 15% dan diameter kerongkongan venturi 3 mm. Studi eksperimen dilakukan oleh (Huang, Sun, Du, et al., 2019) untuk mengevaluasi kinerja saluran venturi skala mikro sebagai generator gelembung mikro. Dari hasil eksperimen didapatkan bahwa dengan bilangan Reynolds di tenggorokan venturi $0,7-1,2 \times 10^4$ dan fraksi udara di bawah 0,1, generator venturi dapat menghasilkan gelembung halus dengan diameter rata-rata sekitar 0,2–0,4 mm. Generator gelembung sulit untuk menghasilkan gelembung mikro pada fraksi udara yang tinggi. (Li, Song, Yin, & Wang, 2017) meneliti pengaruh diameter lubang injeksi pada distribusi ukuran gelembung yang dihasilkan di saluran venturi. Menurut hasil penelitian, diameter memiliki pengaruh kecil pada distribusi ukuran gelembung. Terlepas dari ukuran gelembung awal, ukuran gelembung akhir terutama bergantung pada proses pemecahan di bagian divergen. Oleh karena itu, lubang injeksi dengan diameter sekitar 1 mm dipilih karena kepraktisannya. Penelitian lain juga telah berhasil meningkatkan nilai SAE dari aerator jenis venturi dengan cara menyusunnya secara paralel. Dalam hal ini, penyusunan secara paralel akan mampu menyebabkan udara yang diinjeksikan ke dalam air menjadi lebih banyak, sehingga strategi ini akan mampu meningkatkan efisiensi sistem aerasi (SAE) secara keseluruhan (Zhu, Wu, & Mukhtar, 2013).

Akan tetapi, masih belum banyak penelitian yang dilakukan pada generator gelembung mikro tipe venturi untuk mengevaluasi efisiensi aerasi pada susunan kombinasi venturi dan *static mixer*. Oleh karena itu, kinerja dari generator gelembung mikro kombinasi venturi dan *static mixer* akan diteliti.

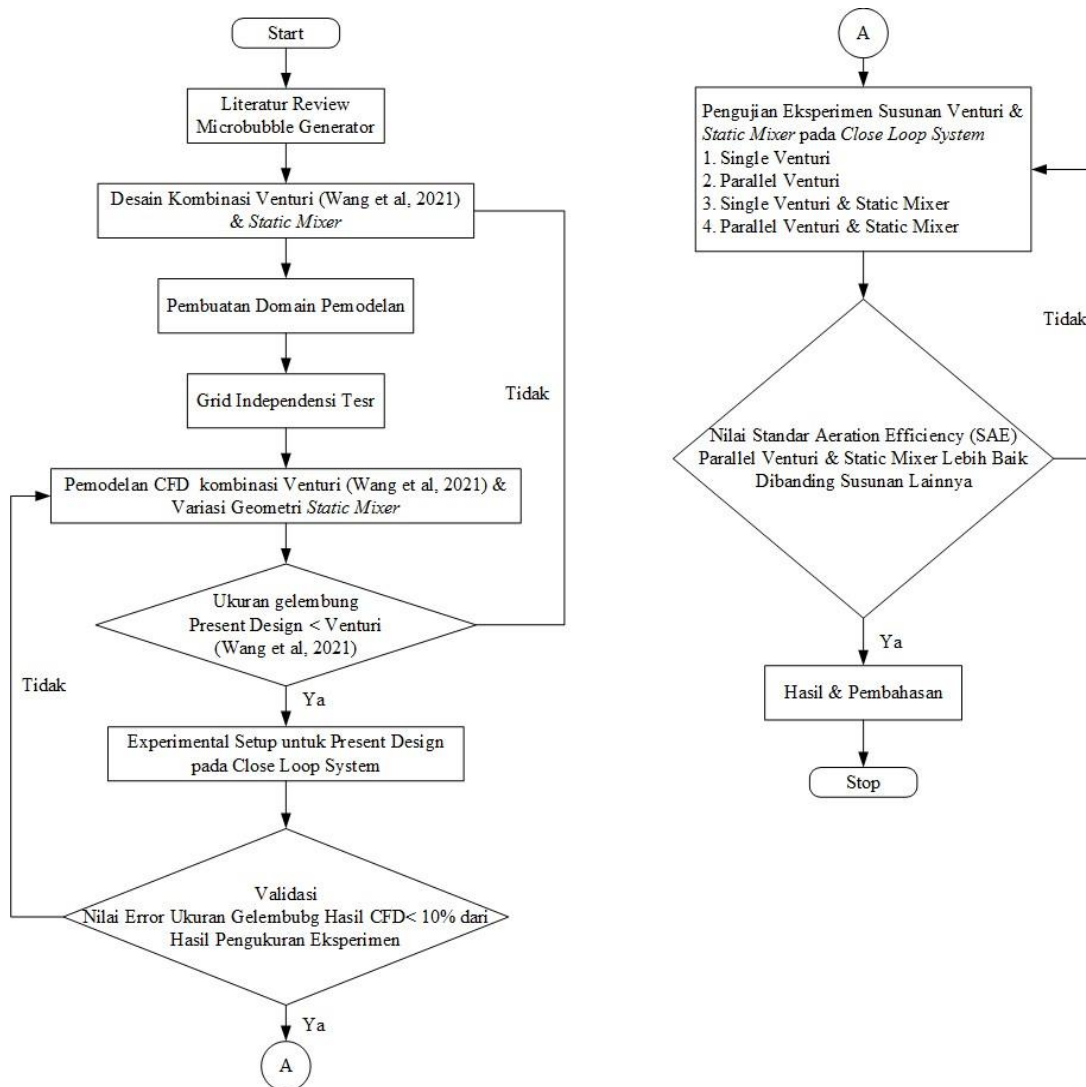
1.2. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Melakukan pemodelan CFD untuk mendapatkan desain *static mixer* generator gelembung mikro tipe venturi yang optimal.
2. Melakukan eksperimen kombinasi susunan generator gelembung mikro venturi dan *static mixer* untuk pengujian performansi.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan pemodelan *computational fluid dynamic* (CFD) untuk mendapatkan desain *microbubble generator* (venturi dan *static mixer*) yang selanjutnya dilakukan validasi dengan hasil eksperimennya. Setelah Proses validasi dari hasil pemodelan CFD, penelitian dilanjutkan dengan pengujian eksperimen susunan *microbubble generator* untuk mendapatkan susunan *microbubble generator* yang paling baik untuk nilai *standard aeration efficiency* (SAE). Diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



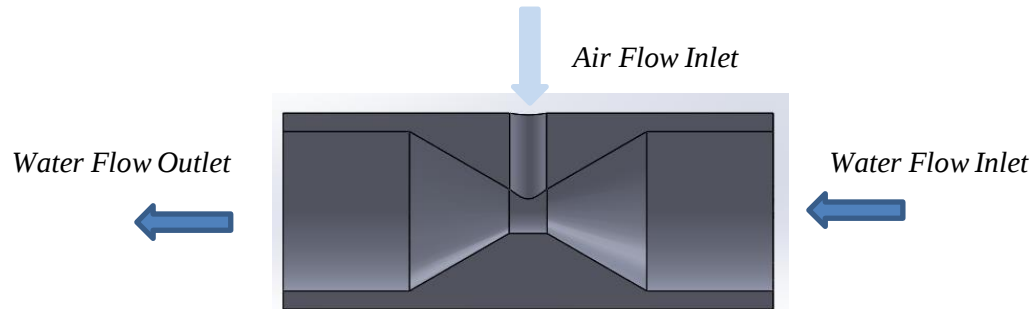
Gambar 1. Diagram alir penelitian

3.1. Numerical Model

Penelitian ini menggunakan *computational fluid dynamic* (CFD) untuk menguji penggunaan *static mixer* untuk meningkatkan fraksi volume gas di dalam air dengan memecah gelembung yang dihasilkan oleh *microbubble* generator jenis venturi. Hal ini bertujuan agar ukuran gelembung yang dihasilkan oleh venturi menjadi lebih kecil. Persamaan *Reynolds-averaged Navier-Stokes* (RANS) untuk menjalankan proses pemodelan ini.

a. Pembuatan domain pemodelan

Domain pemodelan terdiri atas venturi (Wang, Shuai, Zhang, et al., 2020) yang ditunjukkan dengan Gambar 2 dan spesifikasinya pada Tabel 1. Domain *static mixer* yang digunakan merupakan jenis *helical static mixer* (Hobbs & Muzzio, 1997) dengan gambar *basic* seperti ditunjukkan pada Gambar 3 yang selanjutnya akan divariasikan bentuk geometrinya. Variasi geometri pada domain *static mixer* digunakan untuk pengujian pemodelan CFD sehingga didapatkan desain yang paling baik sebagai pemecah gelembung dari venturi *microbubble generator*.

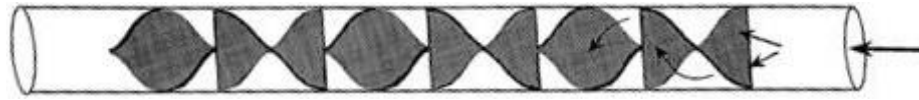


Gambar 2. Venturi *microbubble generator* (Lee et al., 2019)

Tabel 1. Spesifikasi geometri venturi *microbubble generator*

No	Ukuran Bagian Venturi	Nilai
1	Panjang venturi	80 mm
2	Diameter <i>water flow inlet</i>	32 mm
3	Diameter <i>water flow outlet</i>	32 mm
4	Diameter throat	7.22 mm
5	Sudut konvergen nozzel	30°
6	Sudut divergen difuuser	30°
7	Diameter <i>air flow inlet</i>	6 mm

Sumber : Lee et al. (2019)



Gambar 3. *Helical static mixer* (Hobbs & Muzzio, 1997)

a. Mesh dan Grid Independency Test

Semua domain menggunakan *unstructured mesh* dengan bagian dinding yang lebih rapat dibandingkan dengan lainnya. Pembuatan *mesh* dievaluasi dengan *skewness* dengan batasan nilai yang dapat diterima adalah 0,85 (Wilson, Pun, Ganesan, & Hamad, 2021). Metode *interval size* dengan perubahan *growth rate* mesh dalam *wall treatment* pada dinding domain digunakan sebagai *grid independency test*. Dalam penelitian ini, menggunakan 5 level tingkatan mesh seperti ditunjukkan pada Tabel 2. Mesh dengan *deviation level* kurang dari 1 % akan digunakan dalam pemodelan.

Tabel 2. *Grid Independency Test*

No	Nama Mesh	Interval size	Growth Rate
1	Grid 1	2	6
2	Grid 2	1.8	8
3	Grid 3	1.6	12
4	Grid 4	1.4	18
5	Grid 5	1.2	26

b. Boundary Condition

Jenis *boundary condition* pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 3 berikut ini:

Tabel 3. *Boundary condition*

No	Bagian	Boundary Condition
1	<i>Water flow inlet</i>	Laju massa aliran air divariasikan (<i>volumetric quality</i> = 0,9988) Laju massa udara divariasikan (<i>volumetric quality</i> = 0,012)
2	Dinding Venturi	No Slip Wall
3	Dinding Static Mixer	No Slip Wall
4	<i>Helical mixer</i>	No Slip Wall
5	<i>Water flow outlet</i>	<i>outflow</i>

c. *Numerical Solution*

Pemodelan menggunakan pendekatan kombinasi Euralian and Langrangian untuk studi aliran fluida multifasa seperti yang dilakukan oleh (Wilson et al., 2021). Persamaan konservasi massa, momentum dengan pemodelan turbulen, dan energi ditunjukkan pada persamaan (1), (2), dan (3). Reynolds stress yang dimodelkan dengan pendekatan Boussinesq seperti ditunjukkan pada persamaan (4). Sedangkan model turbulensi dengan Standar k- ϵ ditunjukkan persamaan (5) dan (6).

- Persamaan Konservasi Massa

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} = S_m \quad (1)$$

- Persamaan Momentum

$$\frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] + \frac{\partial(-\rho \overline{u'_i u'_j})}{\partial x_j} + \rho g + F \quad (2)$$

- Persamaan Energi

$$\frac{\partial(u_i \rho E)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(k_f + \frac{c_p \mu_t}{Pr_t} \right) \frac{\partial T_i}{\partial x_j} \right] + S_h \quad (3)$$

- Persamaan Boussinesq Reynold Stress

$$\frac{\partial(-\rho \overline{u'_i u'_j})}{\partial x_j} = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \quad (4)$$

- Persamaan model turbulensi

$$\mu_{eff} = \mu + \mu_t \quad (5)$$

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\epsilon} \quad (6)$$

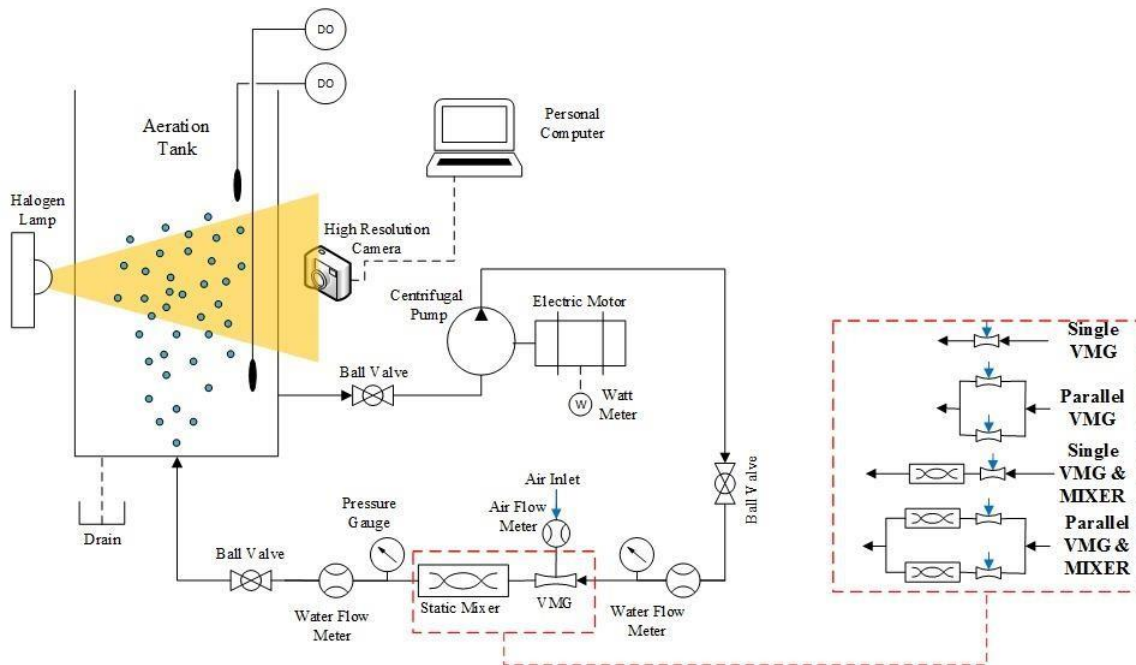
Keseimbangan gaya inersia, gesek, dan gravitasi yang bekerja pada partikel ditunjukkan pada persamaan (7) dan (8) berikut ini:

$$\frac{du_p}{dt} = F_D(u - u_p) + \frac{g_x(\rho_p - \rho)}{\rho_p} \quad (7)$$

$$F_D = \frac{18\mu}{\rho_p d_p^2} \frac{C_D Re}{24} \quad (8)$$

Dimana $F_D(u - u_p)$ adalah gaya gesek per satuan massa. u merupakan kecepatan udara, C_D adalah koefisien gesak, u_p adalah kecepatan partikel, μ adalah viskositas udara, ρ adalah massa jenis udara, ρ_p adalah densitas partikel, Re adalah Reynolds number, dan d_p adalah diameter partikel.

3.2. Eksperimen



Gambar 4. Desain Eksperimen

Desain eksperimen yang akan dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4. Desain eksperimen terdiri dari sistem aliran air, sistem akuisisi data dan seksi uji. Sistem aliran air yang digunakan pada desain eksperimen adalah *closed-loop water cycle* (Wilson et al., 2021). Sistem aliran air terdiri dari tangki air vertikal dengan ukuran panjang 60 cm, lebar 40 cm dan tinggi 120 cm yang dihubungkan dengan pompa sentrifugal debit 10-30 L/menit serta dilengkapi dengan katup dan alat ukur debit air. Sistem akuisisi data terdiri dari komputer, kamera CANON

EOS 3000D dengan 3000 fps dan lampu halogen 50 Watt. Sedangkan seksi uji terdiri dari venturi dan static mixer sebagai generator gelembung mikro.

Pada penelitian ini, pengujian dilakukan dengan debit air sebesar $Q_3 = 27$ L/menit, tekanan atmosfer dan temperatur ruangan. Pengujian pada eksperimen ini dilakukan untuk menguji 4 kombinasi susunan venturi dan *static mixer* yaitu single venturi, parallel venturi, single kombinasi venturi dan *static mixer*, dan parallel kombinasi venturi dan *static mixer*. Untuk melihat ukuran gelembung yang dihasilkan oleh generator dilakukan dengan metode *Particle Image Velocimetry* (PIV).

Laju transfer gas secara umum sangat terpengaruh oleh koefisien transfer massa fase cair (K_L). Namun, data luas antarmuka untuk perpindahan massa (A_t) per satuan volume (V) (digunakan untuk mengetahui koefisien transfer massa fase cair (K_L)) akan sulit untuk bisa dilakukan secara eksperimental. Untuk itu, koefisien perpindahan massa secara keseluruhan (K_{La}) yang kemudian digunakan dalam perhitungan laju transfer gas. Koefisien perpindahan massa secara keseluruhan (K_{La}) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$K_{La} = K_L \frac{A_t}{V} \quad (9)$$

Dimana : K_{La} = Koefisien perpindahan massa oksigen keseluruhan dalam air bersih (h^{-1})

V = Volum air dalam kolam (m^3)

A_t = Luas interfase per volum (m^3/m^2)

Dengan menggunakan teori *Two-Film* dan Hukum Fick's, kita dapat merumuskan persamaan diferensial untuk transfer oksigen pada keadaan *non-steady* seperti berikut (Barrut, Blancheton, Champagne, & Grasmick, 2012):

$$\frac{dC}{dt} = K_{La} \times (C_s - C_t) \quad (10)$$

Dengan mengintegrasikan persamaan diatas dan memasukkan nilai konsentrasi pada $t=0$ ($C_0 = 0$), kita dapat memperoleh persamaan:

$$\ln (C_s - C_t) = K_L a \times t \quad (11)$$

Dalam hal ini KLa adalah koefisien perpindahan massa dari sistem yang diukur dalam (h^{-1}) pada suhu air T. Dengan menggunakan analisis regresi non-linier dari fungsi logaritmik dari defisit konsentrasi ($C_s - C_t$) dengan waktu aerasi t, maka KLa dapat ditentukan nilainya. Nilai tersebut kemudian dapat kita konversikan kedalam temperature standar pada suhu 20°C (KLa_{20}) menggunakan persamaan:

$$KLa_{20} = KLa / \theta^{(T-20)} \quad (12)$$

T adalah suhu air ($^\circ\text{C}$) dan θ merupakan faktor koreksi suhu yang besarnya 1.024 untuk air murni.

Untuk dapat menentukan massa oksigen yang ditransfer ke volume air per satuan waktu ketika oksigen terlarut awal adalah nol dan kondisi standar (yaitu, suhu air pada 20°C dan tekanan pada 1 atm), atau yang disebut SOTR, maka kita bisa menggunakan persamaan berikut:

$$\text{SOTR} = KLa_{20} \times (C_s - C_0) \times V \quad (13)$$

Efisiensi sistem aerasi kemudian bisa ditentukan dengan menghitung efisiensi aerasi standar (SAE), yang dinyatakan sebagai laju transfer oksigen per masukan daya unit dan dinyatakan sebagai berikut:

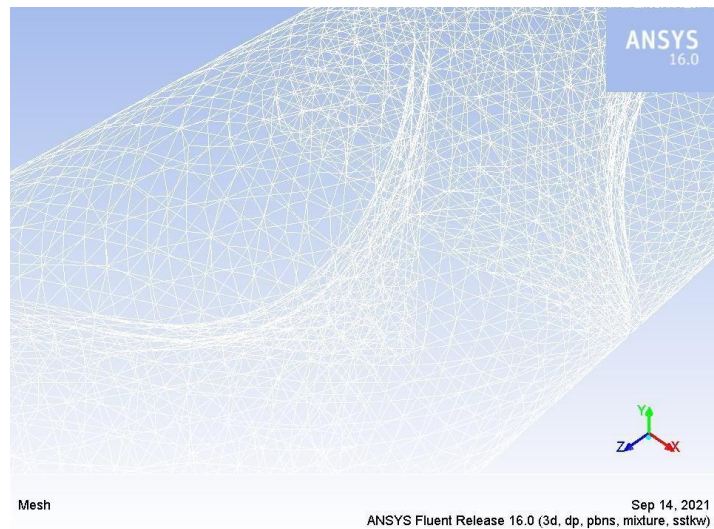
$$\text{SAE} = \frac{\text{SOTR}}{P_{in}} \quad (14)$$

Dalam persamaan diatas, P_{in} adalah daya total yang diambil dari kompresor atau pompa. Nilai SAE ini diekspresikan dalam $\text{Kg O}_2 / \text{kWh}$ atau $\text{lbs O}_2 / \text{hp-h}$.

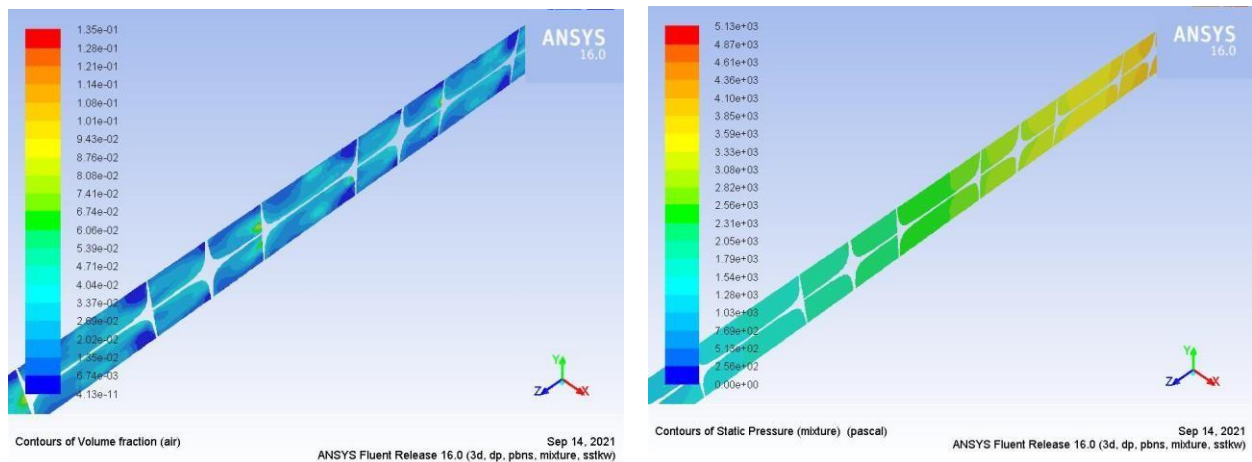
III. HASIL PENELITIAN

3.1. Simulasi Menggunakan CFD

Pada penelitian ini, telah dilakukan simulasi pada bagian *static mixer* dengan menggunakan software ANSYS Fluent untuk mendapatkan desain optimum sebelum digunakan pada eksperimen. Simulasi yang dilakukan sudah sampai pada tahapan meshing gambar *static mixer* (Gambar 5) dan *running* simulasi. Hasil dari simulasi belum mencapai konvergen seperti terlihat pada Gambar 6, tetapi sudah didapatkan hasil *contours* penurunan tekanan dan hasil pencampuran udara dan air pada *static mixer*.



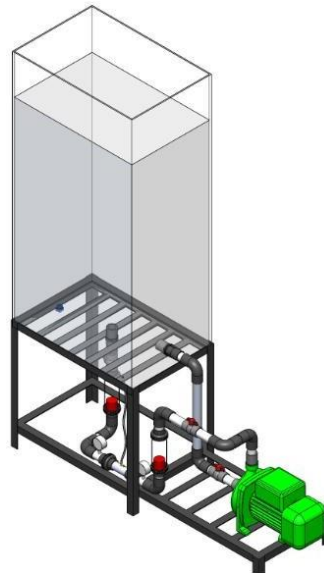
Gambar 5. Meshing



Gambar 6. Contours fraksi volume dan tekanan

3.2 Eksperimen Setup

Pada tahapan eksperimen, dimulai dengan membangun desain eksperimen seperti terlihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Desain eksperimen

Proses pembuatan desain eksperimen untuk pengambilan data dimulai dengan pembuatan akuarium, rangka dan instalasi perpipaian. Akuarium dibuat dengan dimensi 60x40x120 cm. Sedangkan rangka terbuat dari besi siku 3x3 cm dengan dimensi 110x40x55 cm. Instalasi perpipaian menggunakan pipa ukuran 1 inch, *fitting* pipa dan alat ukur. Alat ukur yang digunakan antara lain yaitu *digital flow meter* sebanyak 1 buah dan *digital pressure gauge* sebanyak 2 buah. *Pressure gauge* dipasang di bagian inlet dan outlet *microbubble generator*. Air pada eksperimen disirkulasikan dengan pompa sentrifugal dengan kapasitas 10-30 liter/menit.





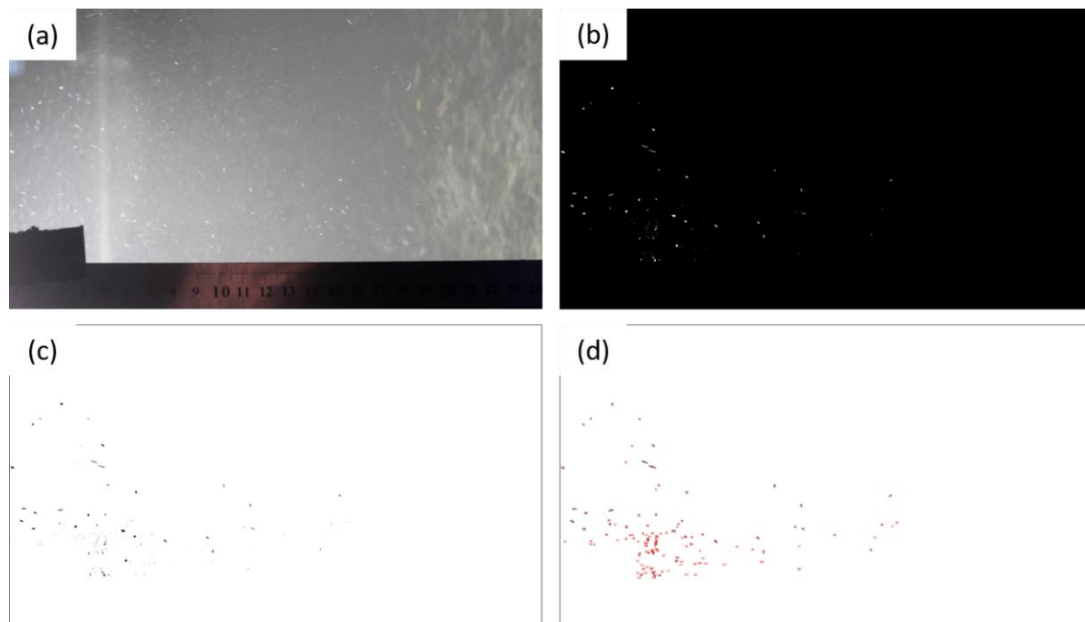
Gambar 8. *Building experimental design*

Setelah desain eksperimen selesai dibangun, kemudian dilakukan pengecekan kebocoran pada instalasi perpipaan, sirkulasi air, dan pengujian *microbubble generator*.

3.3 Hasil Pengujian *Microbubble Generator*

Hasil pengujian menunjukkan bahwa *microbubble generator* berfungsi dengan baik dan dapat menghasilkan gelembung udara. Parameter yang digunakan dalam percobaan ini diantaranya yaitu *water flow* : 29 lt/m, *air flow* : 0,3 lt/m, dan tekanan air sebesar 15 psi. Setelah proses pengujian pada generator dilakukan, gambar gelembung yang dihasilkan selanjutnya diolah dengan menggunakan software ImageJ untuk dapat menentukan dimensinya. Gambar 9

menunjukkan proses penentuan ukuran *microbubble* menggunakan ImageJ. Tahap pertama pengolahan dilakukan dengan mengkonversi *raw image* (Gambar 9a) yang diambil menggunakan kamera (fps : 30) menjadi tipe 8-bit (B/W monotone) (Gambar 9b). Konversi 8-bit (B/W monotone) menjadi gambar hitam putih lalu dilakukan dengan mengubah obyek gelembung pada foto menjadi berwarna hitam, sedangkan *background* dirubah menjadi berwarna putih. Pada pengolahan menggunakan ImageJ ini, pengukuran pada gelembung didapatkan dengan melakukan kalibrasi jarak menggunakan mistar yang terpasang pada akuarium.



Gambar 9. Proses penentuan ukuran *microbubble*. a) Raw image yang didapatkan dari kamera. b) Konversi gambar menjadi 8-bit (B/W monotone). c) Konversi gambar hitam dan putih. d) Hasil pengukuran dimensi pada *microbubble*.

Hasil pengukuran pada Tabel 4 menunjukkan bahwa ukuran rata-rata diameter *microbubble* adalah 0,15 mm. Hal tersebut didapatkan dari perhitungan terhadap jumlah *microbubble* yang terdeteksi oleh software ImageJ. Selain menentukan ukuran *microbubble*, pengambilan data terhadap kadar oksigen yang terlarut (DO) juga dilakukan untuk membandingkan nilai DO awal dengan kadar DO setelah *microbubble* beroperasi selama 15 menit. Dari pengukuran yang dilakukan, dapat diketahui bahwa selisih nilai DO yang terukur pada saat akhir pengukuran adalah sebesar 1,4 mg/l atau naik sebesar 35%.

Tabel 4. Pengukuran dimensi *microbubble*

Percobaan	No	Jumlah gelembung	Total Luas (mm ²)	Rata-rata Diameter (mm)	DO awal (mg/Lt)	DO setelah 15 menit (mg/Lt)
1	1	130	25,138	0,193	3,9	5,3
	2	101	10,859	0,108		
	3	120	18,844	0,157		
Rata-rata				0,153		

Beberapa dokumentasi pada instrumentasi yang digunakan untuk pengambilan data penelitian disajikan dalam Gambar 10.



Gambar 10. a) dan b). Proses pengambilan data yang melibatkan Taruna. c) Pengamatan pada parameter pompa air yang digunakan. d). Pengukuran pada debit air yang mengalir. e). Pengukuran pada tekanan air pada pipa. f). Hasil pengukuran DO setelah 15 menit generator *microbubble* dihidupkan. g). Proses pencetakan *static mixer* yang masih mengalami kegagalan.

Namun demikian, modifikasi yang rencananya akan dilakukan dengan menambahkan *static mixer* masih belum bisa dilakukan karena proses pencetakan *static mixer* dengan menggunakan piranti 3D printing belum berhasil dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alam, H. S., Redhyka, G. G., Bahrudin, Sugiarto, A. T., Salim, T. I., & Mardhiya, R. I. (2018). Design and Performance of Swirl Flow Microbubble Generator. *International Journal of Engineering & Technology*, 7, 66–69.
- Barrut, B., Blancheton, J., Champagne, J., & Grasmick, A. (2012). Aquacultural Engineering Mass transfer efficiency of a vacuum airlift — Application to water recycling in aquaculture systems. *Aquacultural Engineering*, 46, 18–26. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2011.10.004>
- Basso, A., Hamad, F. A., & Ganesan, P. (2019). Initial Results from the Experimental and Computational Study of Microbubble Generation. In *World Congress on Momentum, Heat and Mass Transfer* (pp. 1–9). <https://doi.org/10.11159/icmfht19.101>
- Bhadran, V., & Goharzadeh, A. (2020). Monodispersed microbubble production using modified micro-Venturi bubble generator Monodispersed microbubble production using modified micro-Venturi bubble generator. In *AIP Advances* (Vol. 095306, pp. 1–8). AIP Publishing, LLC. <https://doi.org/10.1063/5.0021957>
- Endo, A., Srithongouthai, S., Nashiki, H., Teshiba, I., Iwasaki, T., Hama, D., & Tsutsumi, H. (2008). DO-increasing effects of a microscopic bubble generating system in a fish farm. *Marine Pollution Bulletin*, 57, 78–85. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2007.10.014>
- Feng, Y., Mu, H., Liu, X., Huang, Z., Zhang, H., & Wang, J. (2020). Leveraging 3D Printing for the Design of High-Performance Venturi Microbubble Generators. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 59, 8447–8455. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.0c01509>
- Gordiychuk, A., Svanera, M., Benini, S., & Poesio, P. (2015). bubble generator Size distribution and Sauter mean diameter of micro bubbles for a Venturi type bubble generator. *EXPERIMENTAL THERMAL AND FLUID SCIENCE*. <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2015.08.014>
- Hobbs, D. M., & Muzzio, F. J. (1997). The Kenics static mixer: A three-dimensional chaotic flow. *Chemical Engineering Journal*, 67(3), 153–166. [https://doi.org/10.1016/S1385-8947\(97\)00013-2](https://doi.org/10.1016/S1385-8947(97)00013-2)
- Huang, J., Sun, L., Du, M., Liang, Z., Mo, Z., Tang, J., & Xie, G. (2019). An investigation on the performance of a micro-scale Venturi bubble generator. *Chemical Engineering Journal*, 386, 120980. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.02.068>
- Huang, J., Sun, L., Liu, H., Mo, Z., Tang, J., Xie, G., & Du, M. (2019). A review on bubble

- generation and transportation in Venturi-type bubble generators. *Experimental and Computational Multiphase Flow*, 1(1), 1–12.
- Juwana, W. E., Widyatama, A., & Dinaryanto, O. (2018). Hydrodynamic characteristics of the microbubble dissolution in liquid using orifice type microbubble. *Chemical Engineering Research and Design*, 141, 436–448. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2018.11.017>
- Kumar, A., Moulick, S., & Chandra, B. (2013). Selection of aerators for intensive aquacultural pond. *Aquacultural Engineering*, 56, 71–78. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2013.05.003>
- Lee, C. H., Choi, H., Jerng, D.-W., Kim, D. E., Wongwises, S., & Ahn, H. S. (2019). Experimental investigation of microbubble generation in the venturi nozzle. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 136, 1127–1138. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.03.040>
- Li, J., Song, Y., Yin, J., & Wang, D. (2017). Investigation on the effect of geometrical parameters on the performance of a venturi type bubble generator. *Nuclear Engineering and Design*, 325(March), 90–96. <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2017.10.006>
- Liew, K. C. S., Rasdi, A., Budhijanto, W., Yusoff, M. H. M., Bilad, M. R., Shamsuddin, N., ... Putra, Z. A. (2020). Porous Venturi-Orifice Microbubble Generator for. *Processes*, 8(1266), 1–15.
- Mahmud, R., Erguvan, M., & Macphee, D. W. (2020). Performance of Closed Loop Venturi Aspirated Aeration System : Experimental Study and Numerical Analysis with Discrete Bubble Model.
- Majid, A. I., Nugroho, F. M., Juwana, W. E., Budhijanto, W., Deendarlianto, & Indarto. (2018). On the Performance of Venturi-Porous Pipe Microbubble Generator with Inlet Angle of 20 q and Outlet Angle of 12 q. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 050009, p. 11). <https://doi.org/10.1063/1.5050000>
- Pambudiarto, B. A., & Mindaryani, A. (2020). Evaluation of the Effect of Operating Parameters on the Performance of Orifice / Porous Pipe Type Micro-bubble Generator, 52(2), 196–207. <https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2020.52.2.5>
- Park, S. K., & Yang, H. C. (2017). Experimental investigation on mixed jet and mass transfer characteristics of horizontal aeration process. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 113, 544–555. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.05.120>
- Parmar, R., & Majumder, S. K. (2013). Microbubble generation and microbubble-aided transport process intensification — A state-of-the-art report. *Chemical Engineering & Processing: Process Intensification*, 64, 79–97. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2012.12.002>
- Vilaida, X., Kythavone, S., & Iijima, T. (2019). Effect of Throat Size on Performance of Microbubble Generator and Waste Water Treatment Effect of Throat Size on Performance of Microbubble Generator and Waste Water Treatment. In *Internasional Conference on Engineering, Aplied Sciences and Technology* (p. 5). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/639/1/012031>
- Wang, X., Shuai, Y., Zhang, H., Sun, J., Yang, Y., Huang, Z., ... Yang, Y. (2020). Bubble

- breakup in a swirl-venturi microbubble generator. *Chemical Engineering Journal*, 403(February 2020), 126397. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.126397>
- Wang, X., Shuai, Y., Zhou, X., Huang, Z., Yang, Y., Sun, J., ... Yang, Y. (2020). Performance comparison of swirl-venturi bubble generator and conventional venturi bubble generator. *Chemical Engineering & Processing: Process Intensification*, 154(March), 108022. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2020.108022>
- Wilson, D. A., Pun, K., Ganesan, P. B., & Hamad, F. (2021). Geometrical Optimization of a Venturi-Type Microbubble Generator Using CFD Simulation and Experimental Measurements. *Designs*, 5(4), 18.
- Zhu, J., Wu, S. X., & Mukhtar, S. (2013). Aerator Module Development Using Venturi Air Injectors to Improve Aeration Efficiency. *Applied Engineering in Agriculture*, 23(5), 661–667. <https://doi.org/10.13031/2013.23667>